



AGRICULTURES
ET DÉFIS DU MONDE
Collection Cirad-AFD

La transition agro-écologique des agricultures du Sud

F.-X. Côte, E. Poirier-Magona,
S. Perret, P. Roudier,
B. Rapidel, M.-C. Thirion,
éditeurs



éditions
Quæ

2018. Agroecological protection of mango orchards in Réunion. *Sustainable Agriculture Reviews*, 28, 249-307.

Gloanec C., Deguine J.-P., Vincenot D., Jacquot M., Graindorge R., 2016. Applications en cultures fruitières : L'expérience Biophyto. *In : Protection agro-écologique des cultures* (J.-P. Deguine, C. Gloanec, P. Laurent, A. Ratnadass, J.N. Aubertot, eds), éditions Quæ, Versailles, 97-126.

Técher K., Dijoux A., Gloanec C., Danflous J.P., Guignard I., 2015. La question de la valorisation commerciale pour une culture de mangue en protection agro-écologique des cultures. *In : Biodiversité et protection agro-écologique des cultures* (J.-P. Deguine, C. Gloanec, T. Schmitt, eds), Actes du séminaire Biophyto Saint-Pierre, 21-24 octobre 2014, la Réunion, chambre d'agriculture de la Réunion, Saint-Denis, la Réunion, 25.

CHAPITRE 8

L'accompagnement de la transition agro-écologique dans les systèmes agroforestiers d'Amérique centrale

Bruno Rapidel, Jean-François Le Coq, Elias de Melo, Jacques Avelino, Sandrine Freguin-Gresh

Depuis son introduction et son expansion au cours du xx^e siècle, le caféier est devenu non seulement une source essentielle de l'équilibre de la balance commerciale de certains pays d'Amérique centrale (Nicaragua, Honduras), mais aussi une culture identitaire (Tulet, 2008) et un enjeu de pouvoir (Demyk, 2007).

Les modes de production diffèrent selon les pays, mais majoritairement la production est issue de petits producteurs. En général, d'une part, le caféier est cultivé sur de fortes pentes et, d'autre part, les travaux de récolte manuelle sont à l'origine de flux migratoires saisonniers importants entre les pays, en particulier depuis le Nicaragua (Baumeister *et al.*, 2008).

Les structures institutionnelles du secteur sont également diverses : cela va des instituts du café, représentant l'ensemble de la filière nationale (comme l'Icafe au Costa Rica) ou seulement les producteurs (comme Anacafé au Guatemala), à des situations de gouvernance moins forte, comme au Nicaragua. Les niveaux d'intervention et d'appui de l'État sont également divers selon les pays.

Là encore, quelques tendances générales émergent toutefois : une simplification globale des systèmes de culture évoluant de systèmes agroforestiers complexes peu intensifs (en capital, en main-d'œuvre), comme c'est encore largement le cas au Nicaragua, vers des systèmes combinant moins d'espèces végétales et gérés de manière intensive, comme au Costa Rica ou au Guatemala (Jha *et al.*, 2014) ; une grande sensibilité aux cours mondiaux du café, qui, dans ces systèmes pérennes, se manifeste d'abord par des évolutions des pratiques de culture, et à moyen terme par des réductions lentes des superficies au profit d'autres productions agricoles déterminées en fonction des lieux, des stratégies des exploitants et des coûts d'opportunité de la terre agricole et du travail.

Ce chapitre vise à analyser comment la recherche agronomique conduite en Amérique centrale dans le cadre du dispositif de recherche et d'enseignement en partenariat (PCP AFS-CP) mis en place en 2007 par le Cirad, le Catie (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, une organisation de recherche, d'enseignement et de développement) et leurs partenaires régionaux et internationaux, accompagne la caféiculture centraméricaine face aux défis actuels du secteur, et en particulier, ceux de la transition agro-écologique.

Les contraintes et les opportunités des systèmes caféiers

Le caféier Arabica (*Coffea arabica*) est une plante originaire des forêts sèches des hauts plateaux de la Corne de l'Afrique, qui est donc adaptée à certaines conditions d'altitude et de pénombre forestière. Sa culture en plein soleil est toutefois possible, et, depuis son expansion en Amérique centrale au milieu du XIX^e siècle, les systèmes caféiers ont évolué dans une large gamme de conditions, depuis une culture sous des arbres forestiers ou plantés jusqu'à des systèmes de monoculture de plein soleil (Samper, 1999). Ces changements de pratiques culturelles ont été favorisés par les

politiques publiques, en particulier par celles des années 1940-1960 qui ont soutenu l'expansion de grandes exploitations aux mains des élites politiques et économiques et d'investisseurs étrangers (italiens, allemands, nord-américains, anglais, etc.), lesquels ont en même temps entraîné dans leur sillage l'installation de petits planteurs qui leur fournissaient une main-d'œuvre indispensable. Actuellement, la production caféière en Amérique centrale est essentiellement passée aux mains de ces petits et moyens producteurs.

Les tensions qui pèsent sur la caféiculture sont de plusieurs sortes (fig. 8.1). Il y a d'abord des conditions externes, avec deux déterminants importants des choix techniques que sont les prix internationaux et le changement climatique. Ces conditions agissent sur les grands enjeux de la gestion des plantations caféières. Ces plantations sont reconnues comme des refuges de biodiversité. Cependant, elles sont aussi des enjeux de tensions pour la diminution d'utilisation de produits phytosanitaires ; d'une manière plus générale, leur durabilité, incluant les volets environnemental, social et économique est l'objet de controverses. Les activités de recherche que nous avons menées sur ces enjeux, leurs connexions et leur relation à la conception de systèmes agroforestiers apparaissent sur la figure 8.1.

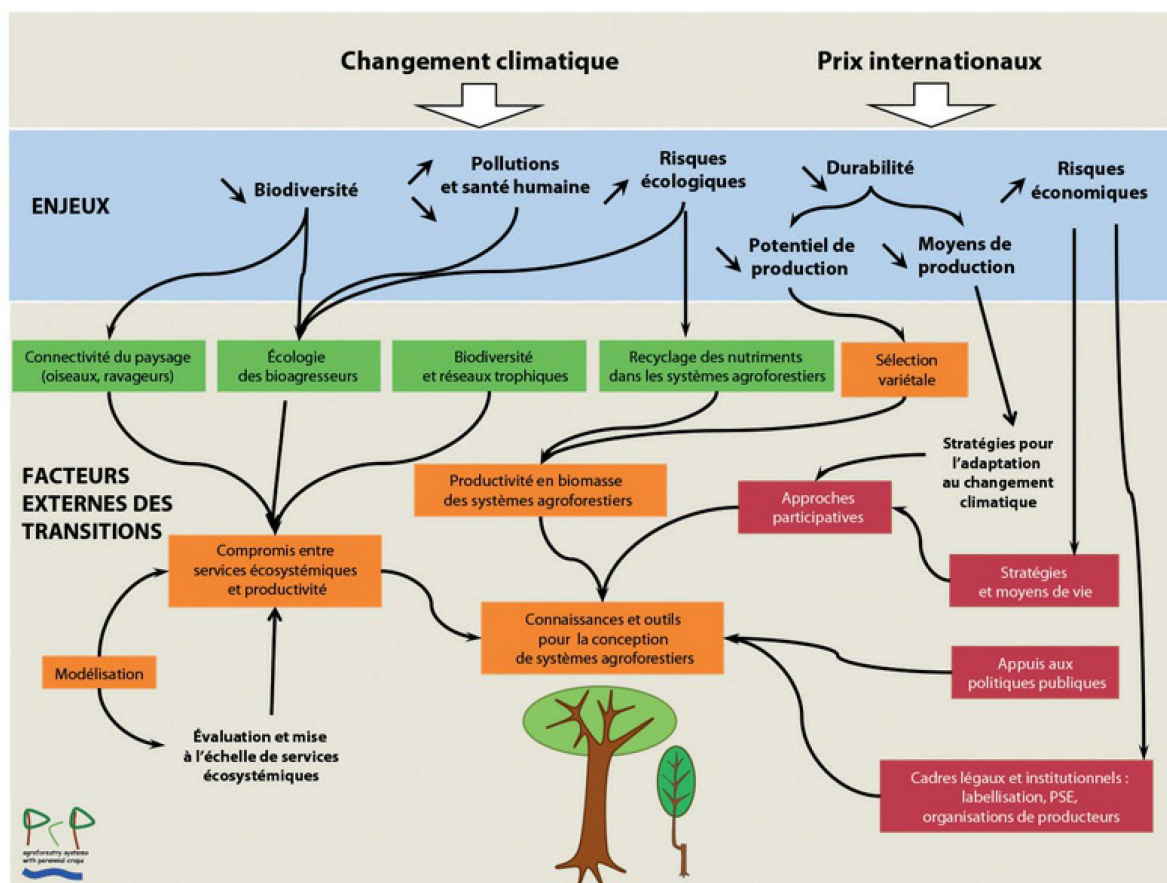


Figure 8.1. Les approches scientifiques pluridisciplinaires du PCP AFS-CP d'accompagnement de la transition des systèmes agroforestiers à base de caféier.

Les activités de recherche décrites sont indiquées selon les champs disciplinaires dominants éventuels : écologie (cadres verts), agronomie (cadres bruns) ou sociologie et économie (cadres rouges).

À partir de 1998, le cours international du café a durablement chuté, largement au-dessous des coûts de production en Amérique centrale (fig. 8.2). Or, les options pour réduire les coûts de production sont limitées : en particulier, la mécanisation est difficile du fait de la topographie, les plantations étant généralement situées en montagne dans des zones pentues, alors que le principal poste de dépense est la main-d'œuvre pour la récolte. Des stratégies se sont mises en place, entre le milieu des années 1990 (première crise des cours) et le début des années 2000 (seconde crise), fondées sur la reconnaissance de la qualité extrinsèque de la production (liée aux conditions de production, sociales mais aussi environnementales, donnant une impulsion importante à l'agro-écologie) et intrinsèque (qualité à la tasse).

La longue crise des cours du café ne s'est résorbée franchement qu'à la fin

des années 2000, avec un cours atteignant un pic haut en 2011. Or, l'augmentation des prix payés aux producteurs a eu des effets contradictoires sur l'adoption de pratiques encouragées par les labels, l'accent économique étant alors mis sur la quantité de production plus que sur la qualité intrinsèque ou extrinsèque. Ainsi, le premium moyen obtenu par le café originaire du Costa Rica (lié à la réputation générale de l'origine sur le marché global), ainsi que le prix minimum garanti dans le cadre du commerce équitable, peuvent être comparés à l'évolution des prix (fig. 8.2). On comprend bien qu'au tournant de la décennie, les producteurs voulant recapitaliser après presque dix années de prix très bas ont cherché à maximiser leur production sans contrainte de système de culture. Depuis 2012 toutefois, les cours sont moins favorables et les stratégies de promotion de la qualité de café reprennent de l'importance.

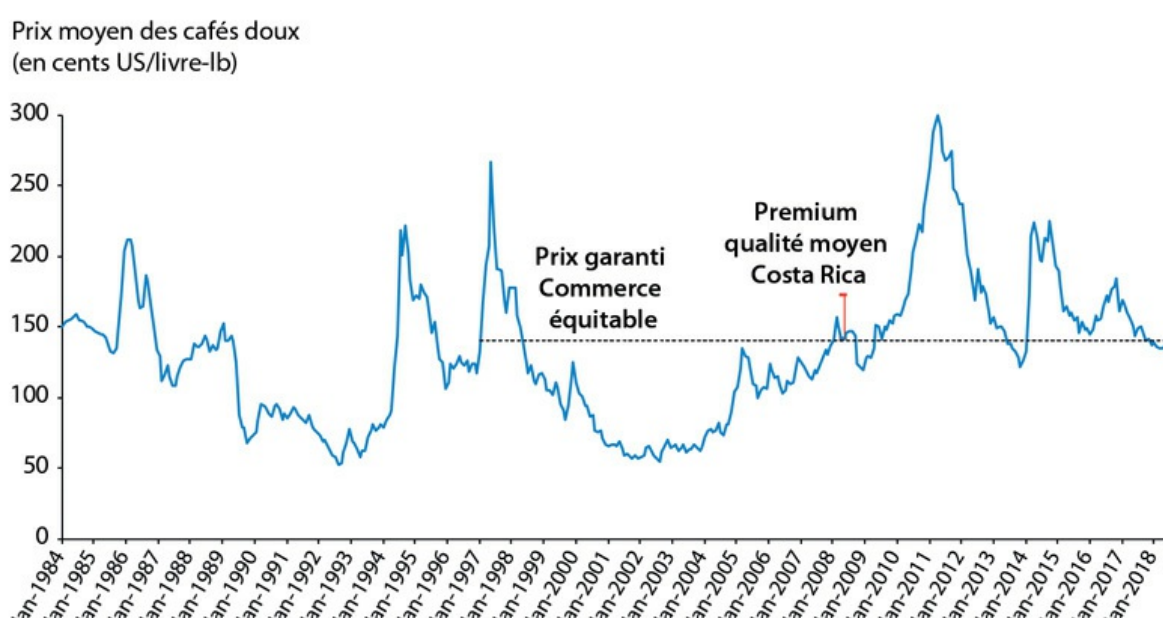


Figure 8.2. Evolution du prix du café à la bourse de New-York (ICO) (Sources : www.ico.org, www.fairtrade.net, icafe.cr).

En outre, le changement climatique est une autre source de tensions : l'Amérique centrale produit très majoritairement du café Arabica, et ces caféiers sont sensibles à la température. La hausse des températures attendue pourrait rendre les terres de production en basse altitude impropres à la production, diminuant globalement les terres disponibles pour cette culture et renforçant les situations de compétition avec les aires protégées (Jha *et al.*, 2014). Ces changements se traduisent par des pressions phytosanitaires plus importantes, comme à l'occasion de l'explosion récente de l'épidémie de rouille orangée, en partie liée au changement climatique (Avelino *et al.*, 2015). L'agro-écologie, et en

particulier l'introduction d'arbres dans les plantations, est perçue comme une possibilité de pallier ces évolutions en tamponnant les variations diurnes de températures des feuilles de caféier.

À ces tensions externes s'ajoutent des évolutions internes. Les ressources naturelles se dégradent, notamment l'eau (pollution chimique et organique attribuée à l'utilisation de produits agrochimiques et aux rejets des résidus de culture et des eaux de transformation du café) et le sol (érosion, glissements de terrain, diminution de la couche superficielle de sol utilisable pour les cultures, tassement des sols, etc.). L'arbre disparaît dans le paysage, aussi bien à cause de la déforestation ou d'un abattage dans les parcelles, lors d'un changement d'utilisation des terres et/ou d'un changement de variétés de caféiers, ou encore en raison d'une gestion différente de l'ombrage. Ces évolutions ne sont pas nouvelles, mais elles sont ressenties de plus en plus négativement par les populations, citadines et rurales, et les organisations de protection de l'environnement locales sont de plus en plus influentes. À ceci s'ajoutent des difficultés socio-économiques, en particulier les conditions de pauvreté d'un grand nombre de producteurs, parfois associées à l'insécurité alimentaire, aggravées par les variations des cours du café et les problèmes phytosanitaires, qui rendent difficile l'investissement productif.

Les stratégies de recherche en réponse à ces pressions et à ces évolutions sont schématisées aussi sur la figure 8.1, et ont mobilisé des disciplines variées.

Les apports de la recherche pour favoriser la transition agro-écologique des systèmes caféiers

Solutions techniques pour la fourniture de services écosystémiques

Les plantations caféières d'Amérique centrale couvrent un million d'hectares, avec une très forte diversité des systèmes de production, depuis des plantations en plein soleil qui ont appliqué toutes les recommandations d'intensification conventionnelle promue par la révolution verte, jusqu'à

des agroforêts à faible intensité de gestion et faible productivité. Avec un objectif de promotion des services écosystémiques que ces systèmes peuvent fournir à la société, les voies d'amélioration ont concerné les deux grandes voies de l'agro-écologie décrites classiquement (Griffon, 2013) : une voie de diversification de systèmes simples (plantations caféières en plein soleil sous l'ombrage d'une plante de service) et une voie d'intensification de systèmes complexes (agroforêts, dans lesquelles des caféières sont gérées de manière plus ou moins extensive à l'ombre d'une grande diversité d'arbres, souvent vestiges des forêts originelles).

Ces systèmes agroforestiers, qui associent pour l'essentiel des plantes pérennes, sont complexes ; du fait de l'association même, mais aussi du fait des pas de temps considérés. Par exemple, les interactions entre les racines des espèces que nous pourrions observer sur une plantation de dix ans dépendent pour partie des conditions d'installation de l'association dix ans auparavant, par exemple si une espèce a été installée avant une autre et a pu explorer librement un volume de sol. Cette complexité rend plus difficile l'établissement de règles génériques.

Pour pouvoir apporter des éléments utiles à la conception de systèmes agroforestiers, nous avons étudié les services écosystémiques fournis, les relations entre ces services, et les conditions nécessaires à la fourniture des services, bien entendu dans le contexte de la présence d'arbres dans les plantations. Les divers types de services, définis par le *Millennium Ecosystem Assessment* (2005), ont ainsi été étudiés :

- les services d'approvisionnement, et en premier lieu la productivité en café (Bhattarai *et al.*, 2017), mais aussi la productivité comparée des différents types de produits extraits des plantations, vendus ou non ;
- l'approvisionnement en eau des nappes, avec un bilan à faire entre les effets contradictoires des systèmes agroforestiers, dans lesquels la présence des arbres augmente en général la consommation en eau, mais aussi améliore l'infiltration des eaux de pluies (Padovan *et al.*, 2018) ;
- les services de régulation climatique, avec des travaux sur la séquestration de carbone dans les systèmes agroforestiers, mais aussi les émissions des autres gaz à effets de serre (Hergoualc'h *et al.*, 2012) ;
- la régulation des bioagresseurs dans les systèmes agroforestiers, avec des études détaillées des effets des associations sur l'épidémiologie de certaines maladies, comme la rouille orangée du caféier (Lopez *et al.*, 2013 ; Boudrot *et al.*, 2016), mais aussi sur les complexes de bioagresseurs qui attaquent le caféier et interagissent entre eux (Allinne *et al.*, 2016) ;

– les services de support, en particulier le recyclage des nutriments (très fortement modifié par la présence des arbres d’ombrage et l’enracinement des arbres et du caféier dans les profils de sols ; Padovan *et al.*, 2015), la production de biomasse et le recyclage de la biomasse, éléments fondamentaux de la vie des écosystèmes agro-écologiques (Defrenet *et al.*, 2016).

De ces évaluations des services fournis par les systèmes agroforestiers, on retire d’abord une idée de grande complexité et une difficulté à extraire de cette complexité des principes génériques d’action. En particulier, la recherche de synergies entre la productivité et les services écosystémiques liés à la protection de l’environnement est difficile. Si la biodiversité est bien à la base des services fournis, son utilisation reste complexe à raisonner localement, et surtout les bonnes pratiques sont difficiles à extrapoler du fait d’interactions nombreuses. Et les grandes hypothèses de l’écologie ne fournissent que peu de pistes pour l’élaboration de règles génériques à appliquer à ces systèmes très anthropisés.

Plusieurs voies d’innovation ont été étudiées avec les producteurs, et dans des essais de longue durée (fig. 8.3). Pour suivre l’objectif d’augmenter la présence et la diversité des arbres dans les plantations, les pratiques actuelles les plus courantes consistent à cultiver les plantations caféières en association avec des arbres de service, du genre érythrine (*Erythrina* spp., photo 8.1), ou certaines espèces d’*Inga*. Ces arbres, presque uniquement destinés à fournir de l’ombre, peuvent être « gérés » relativement finement en fonction des besoins des caféiers, et de la fixation d’azote. Mais ils ne procurent généralement aucun revenu additionnel, hormis certaines espèces d’*Inga* dont les résidus de coupe peuvent servir de bois de chauffe, essentiel dans certains pays de la région.

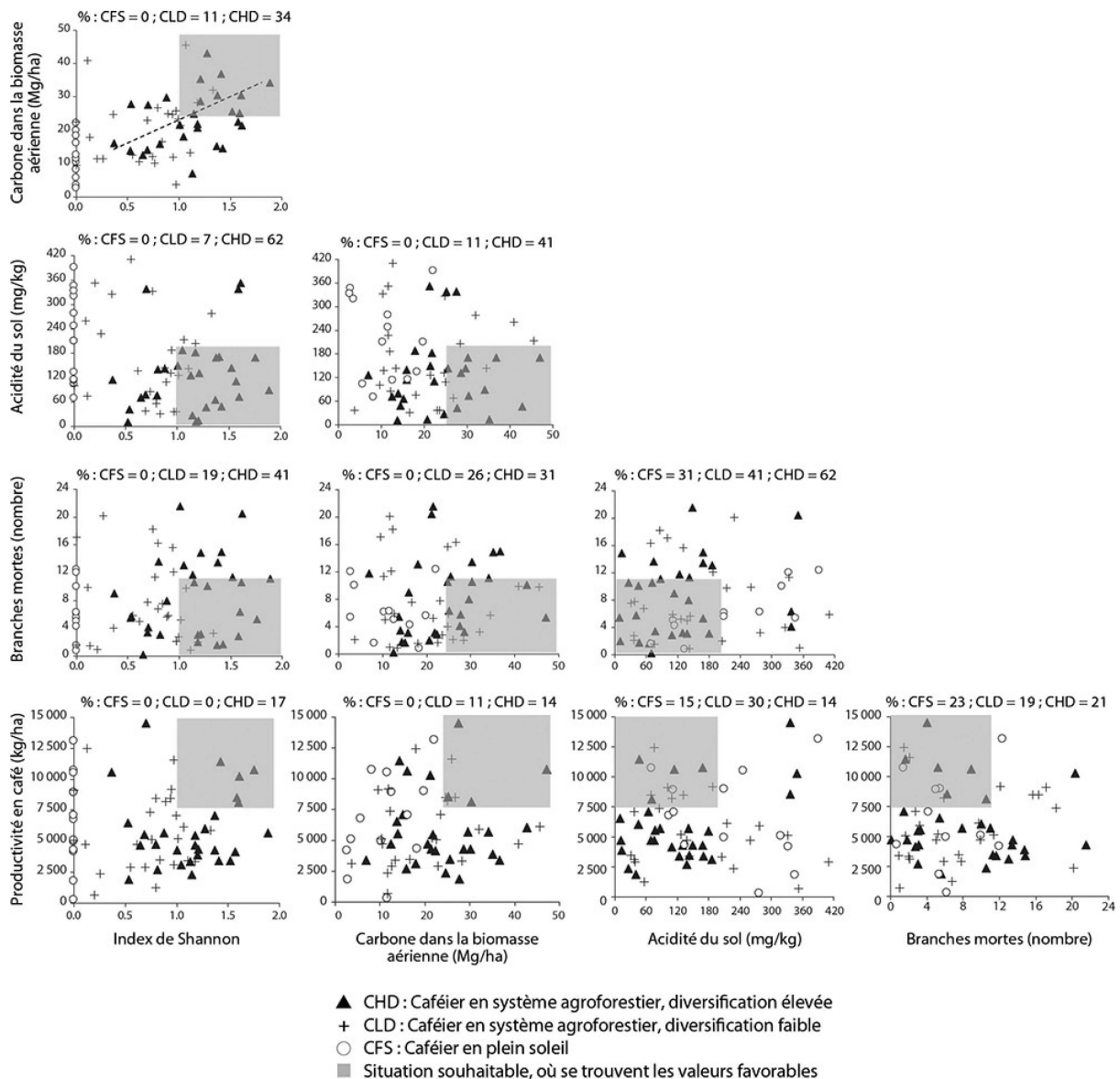


Figure 8.3. Relations entre services écosystémiques fournis par les plantations caféières en fonction de leur niveau de diversité (Costa Rica, Cerda *et al.*, 2017).

On a testé le remplacement de ces espèces par des essences forestières de production de bois d'œuvre (photo 8.2 ; Hagggar *et al.*, 2011). Les revenus générés peuvent être importants, notamment à des moments de vulnérabilité particulière des planteurs, comme en cas de forte baisse des prix du café ou de rénovation totale de la plantation (Beer *et al.*, 1998). Cette stratégie a été mise à l'épreuve au Honduras, qui a mis en place des plantations agroforestières de caféier à l'échelle nationale. La productivité du bois a été évaluée sur ces parcelles (Jiménez *et al.*, 2012) et, comme on l'avait supposé, les productivités par arbre sont supérieures aux productivités mesurées en plantations forestières (moindre compétition pour la lumière du fait des faibles densités, et effets de la fertilisation

apportée au caféier). Les compromis avec la productivité en café n'ont pas été évalués, à notre connaissance. Mais si les performances biologiques de cette innovation semblent correctes, ses performances économiques sont controversées. Il semble que la valorisation du bois produit est plus difficile qu'escompté, en partie car la qualité du bois serait moindre avec des fûts moins droits, mais aussi car la filière bois est très différente de la filière café et il n'est pas facile pour un producteur de café de négocier la vente de son bois. Toutefois, les politiques de lutte contre la déforestation et le renforcement des contrôles sur l'origine des bois (et dans certains cas la certification) peuvent stimuler la demande de bois d'œuvre cultivé. Enfin, la poursuite de la production de café sous des arbres adultes demande un élagage périodique des arbres, en plus des éclaircissages. Cet élagage pose des problèmes technologiques et de quantité de travail considérables (photo 8.3) même si des systèmes de coupe mécanisée sont en cours de test.



Photo 8.1. Plantation de caféier typique de la région de Tarrazú, Costa Rica : fortes densités de caféier sur des terres en pente, complanté d'érythrines (*E. poeppigiana*) fortement rabattues et de quelques bananiers. © Bruno Rapidel / Cirad.

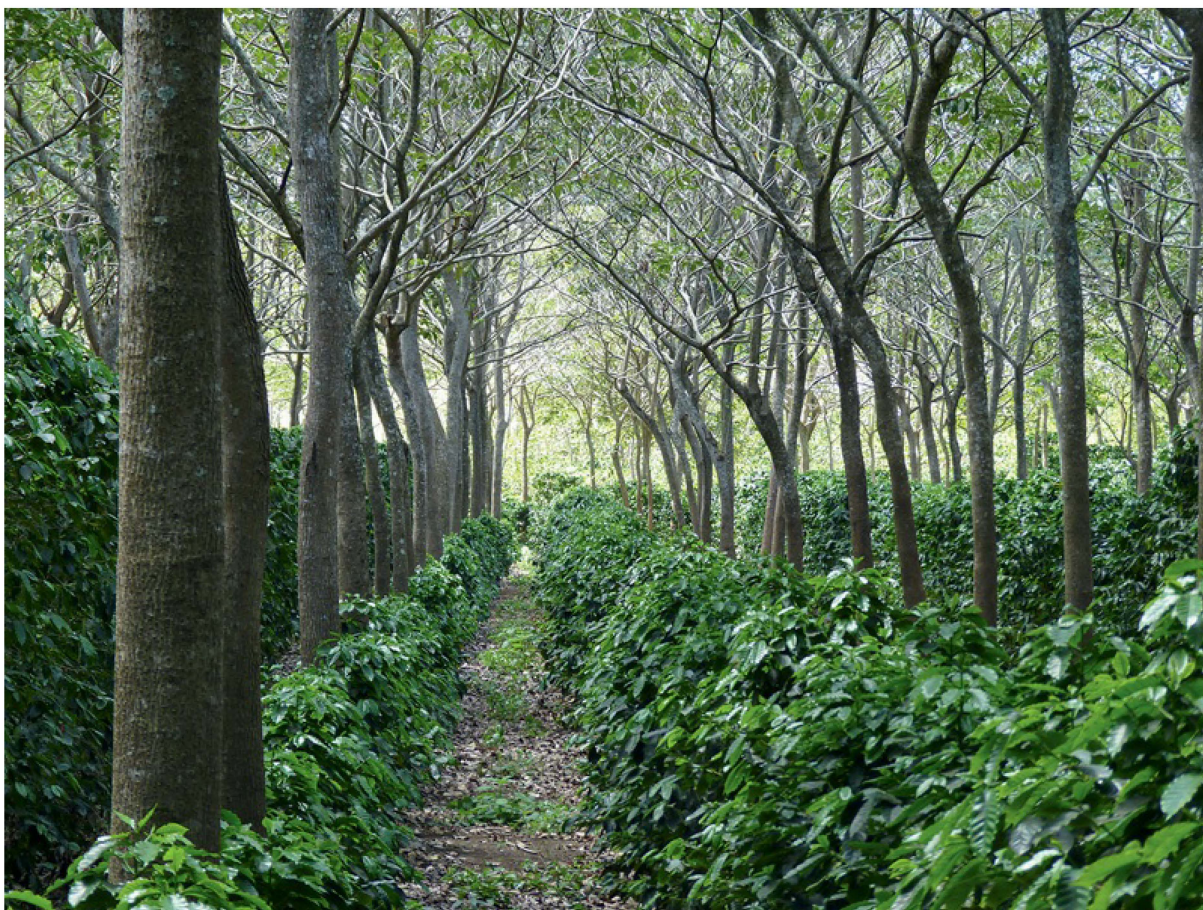


Photo 8.2. Plantations expérimentales de caféier dans l'État de Veracruz au Mexique, sous ombrage d'un arbre à bois (*Acrocarpus fraxinifolius*). © Bruno Rapidel / Cirad.



Photo 8.3. Travail d'élagage d'arbres d'ombrage au Nicaragua : le producteur, perché sur des fourches de l'arbre, doit s'assurer lui-même, mais aussi les branches pour ne pas abîmer les caféiers lors de leur chute. © Bruno Rapidel / Cirad.

Une autre stratégie a consisté à promouvoir la diversification des essences plantées comme espèces d'ombrage. Cette stratégie, largement promue par plusieurs labels (*Rainforest Alliance*, *Bird Friendly*), produit des systèmes très divers dans les essences choisies et dans les densités pratiquées. Cependant, les études montrent généralement qu'il y a des marges de manœuvre encore disponibles pour produire des faisceaux de services

écosystémiques sans que les facteurs limitants (co-limitations mutuelles) ne soient atteints (Cerdea *et al.*, 2017). Cette stratégie s'observe aussi sur le terrain avec l'association d'espèces fruitières, lorsque les filières sont organisées : en particulier des bananiers-dessert fréquemment associés aux caféiers, à des densités très variables, depuis une couverture presque continue du caféier dans certaines régions du Nicaragua (photo 8.4) jusqu'à quelques dizaines de plants par hectare dans d'autres cas. Le revenu généré par la production de bananes, distribué tout au long de l'année, complète les revenus du café, concentrés sur les deux mois de la récolte. Cette diversification s'observe aussi avec d'autres espèces fruitières, plantées à moindre densité et plus variées. Les fruits produits sont généralement autoconsommés par la famille, participant à la diversification de sa diète alimentaire (Cerdea *et al.*, 2014 ; Notaro, 2014).



Photo 8.4. Plantation caféière à La Dalia, Nicaragua, sous ombrage simple : système agroforestier associant caféier et bananier, une bonne complémentarité économique. © Bruno Rapidel / Cirad.

Des stratégies de gestion adaptative des plantations ont également été mises en œuvre, afin que la gestion de celles-ci suive l'évolution de

l'environnement biophysique ou socio-économique, en cours ou à venir. À court terme, en particulier pour mieux profiter de périodes de prix du café élevé, elles consistent à adapter la taille du caféier et celle des arbres d'ombrage[25]. À moyen terme, on peut aussi ajuster la fertilisation de la plantation en fonction de la gestion de l'ombrage : lorsque les prix sont élevés, on réduit l'ombrage, et on augmente en même temps la fertilisation ; lorsque les prix diminuent, un ombrage plus dense permet d'augmenter le recyclage des nutriments, mais aussi de diminuer la production et les coûts de production. Les résultats de ces stratégies ne sont pas encore analysés, mais elles sont déjà pratiquées par certains producteurs.

Enfin, d'autres stratégies, complémentaires, consistent à se concentrer sur le caféier, plutôt que sur les arbres d'ombrage. Jusqu'à maintenant, les variétés de caféier ont été sélectionnées dans des conditions d'ombrage très faibles ou en plein soleil. Certaines de ces nouvelles variétés — par chance — se sont bien comportées dans des conditions d'ombrage élevé (Bertrand *et al.*, 2010). Ce n'est que récemment que des programmes de sélection ont été initiés, avec comme objectif de proposer des variétés qui soient spécifiquement adaptées aux conditions des systèmes agroforestiers (voir Bertrand *et al.*, chap. 9 dans cet ouvrage). Mais l'investissement supplémentaire que requiert l'achat de plants issus de ces nouvelles semences, parfois hybrides, décourage souvent les petits agriculteurs.

Mieux comprendre et accompagner l'innovation

Les innovations techniques présentées ci-dessus ont différentes origines : certaines ont été directement proposées par la recherche, en particulier l'usage d'espèces d'ombrage qui génèrent des produits marchands ou des services rémunérés, mais beaucoup viennent soit du milieu de la production, soit des opérateurs économiques (comme la diversification des espèces d'ombrage initiée par *Rainforest Alliance*). Selon le contexte, les modes d'accompagnement à l'adoption de ces innovations sont adaptés.

Localement, plusieurs démarches ont été mises en place pour encourager la réflexion des producteurs de café sur leurs pratiques et les voies pour les améliorer. Au Costa Rica et au Nicaragua, après une phase de caractérisation, puis d'étude de la diversité des pratiques de gestion des plantations de caféiers (Meylan *et al.*, 2013), nous avons entrepris de

modéliser le choix et les effets des pratiques. L'objectif est d'intégrer l'ensemble de la diversité des questions techniques issues de groupes d'agriculteurs homogènes dans la structure de l'exploitation et le choix des pratiques. Cette démarche conceptuelle a permis de conduire les producteurs à imaginer des solutions aux problèmes qu'ils rencontraient, mais aussi d'envisager l'évolution de leurs pratiques en réponse à différents instruments d'action publique. Bien que le modèle utilisé puis modifié n'ait pas été conçu pour cela et ne prenait pas en compte tous les processus nécessaires, il a permis, après un apprentissage progressif, de faire interagir des producteurs sur la base de processus techniques qu'ils ne pouvaient pas observer par eux-mêmes (minéralisation de la matière organique, fixation symbiotique de l'azote de l'air). Ce modèle a finalement joué le rôle attendu : celui de représenter des interactions dans le système de culture et de mener des expérimentations virtuelles à l'initiative des producteurs ; il a aussi été un support d'échanges entre les chercheurs et les producteurs, un outil de formation, et a permis de proposer des expérimentations pour la suite, comme illustré dans le tableau 8.1 (Meylan, 2012).

Tableau 8.1. Quelques exemples des résultats des ateliers de simulation participative des effets des pratiques culturales en caféier sur la productivité (en tonnes de cerises), le cycle de l'azote et l'érosion (Llano Bonito, Tarrazú, Costa Rica ; d'après Meylan, 2012).

Groupe de producteurs	Pratiques initiales	Modifications testées	Résultats des simulations	Évaluation critique des résultats par le groupe producteur
Peu intensifs	2 × 60 kg N/ha/an 60 % taille de l'ombrage (en moyenne) en mai et octobre	40, 46 et 60 kg N/ha/an Taille de l'ombrage en mars (augmentée à 80 %) et septembre	Productivité augmentée de 4,15 à 5,26 t/ha/an (moyenne sur 7 ans) Indice de couvert foliaire (LAI) ombrage plus faible, mais LAI caféier plus élevé Ruissellement	Intérêt pour productivité supérieure mais crainte du succès fertilisation Absence de conviction l'intérêt diminué l'ombrage (moins d'ombrage)

			plus élevé au début, plus faible ensuite N minéral plus élevé ($\approx \times 2$)	d'ombrage fatiguer les plants à longue échéance
Intensifs en travail	82/82/58 kg N/ha/an 300 arbres/ha taillés en juin, septembre et novembre	58/58/58/58 kg N/ha/an Taille des arbres 2 fois / an (3 sem. avant la floraison, puis en août) pendant une année « El Niño »	Productivité augmentée de 7,25 à 7,57 t/ha/an en moyenne sur 7 ans LAI ombrage plus élevé, mais coupé juste avant la floraison Application tardive de fertilisant, favorisant la croissance des cerises de café	Essais logiques envisagés d'application de fertilisants plus réduits et de fréquence de taille de l'ombrage
Ombrage dense	3 \times 83 kg N/ha/an 800 arbres/ha taillés 3 fois /an, à 40 %	66, 50 et 83 kg N/ha/an Première taille de l'ombrage 3 semaines avant floraison du caféier 600 arbres d'ombrage/ha taillés à 50 %	Productivité augmentée de 7,22 à 7,41 t/ha/an Érosion pas significativement plus élevée N minéral plus élevé	Essais envisagés diminuer fertilisants sur la base des résidus des simulations
Intensifs en intrants	3 \times 75 kg N/ha/an Ombrage taillé à 70 %, 3 fois / an	4 \times 50 kg N/ha/an Taille de l'ombrage réduite à 60 %, 2 fois / an	Productivité augmentée de 6,96 à 7,20 t/ha/an en moyenne Érosion du sol diminuée N minéral plus	Essai envisagé fractionner fertilisants tout en maintenant les quantités totales Manque l'effet de condition

			(significatif)	climatiq sur le ta minérali N
--	--	--	----------------	--

Les labels, mentionnés comme éléments de promotion de l'agro-écologie participent également à son accompagnement. Très souvent, pour les petits producteurs, la contractualisation et l'administration de ces labels sont faites par les coopératives, qui dressent les registres et communiquent avec les certificateurs. Dans certains cas, des certifications multiples sont pratiquées (*Fairtrade* et *Starbucks Café Practice*, par exemple) avec une partie seulement de la production vendue sous un des labels. Les coopératives, qui établissent les registres de certification, sont aussi en charge de vérifier que les pratiques agricoles et sociales correspondent bien aux labels, et, surtout, de former les producteurs à ces pratiques. Ce rôle des coopératives comme courroie de transmission entre des entreprises de certification et des petits producteurs (rôle de *broker*) est essentiel et permet que ces labels aient effectivement un effet positif sur la transition agro-écologique ; les techniciens des coopératives assurent un rôle que les producteurs n'ont pas le temps d'assumer, sans doute de manière plus efficace, réduisant les coûts de transaction de la certification. Cependant, on se rend compte que beaucoup de labels certifient des activités déjà existantes et ne participent guère à une évolution des pratiques : on recherche souvent une certification *Fairtrade* parce qu'on sait qu'on en respecte déjà les critères (Quispe, 2007). Certains labels, toutefois, qui certifient des orientations agro-écologiques avec des critères parfois jugés insuffisamment rigoureux, ont à cœur de promouvoir la modification graduelle des pratiques vers des standards d'autant plus exigeants que le producteur est certifié depuis longtemps. C'est le cas par exemple de *Rainforest Alliance*, qui attribue son label sans que certains critères de certification soient remplis mais sous la condition que l'entreprise prouve ses efforts pour remplir ces critères dans le futur, des vérifications ultérieures venant vérifier cette évolution. On certifie alors des trajectoires vertueuses plus que des états de fait.

Les plateformes d'innovation et l'accompagnement des processus d'adoption

Des plateformes d'innovation ont été mise en place au Nicaragua, en coordination avec une coopérative de la région de La Dalia, au nord de Matagalpa. Les plantations de caféiers y sont gérées sous un ombrage souvent dense et diversifié, mais avec des productivités réduites, amenant des revenus insuffisants.

Plateformes d'innovation à l'initiative des chercheurs

Les modifications proposées visent deux choses. D'une part, il s'agit de sélectionner les associations d'espèces les plus intéressantes pour les producteurs, de manière à protéger ces associations dans le cadre d'une démarche d'intensification qui conserve les fonctions essentielles des systèmes agroforestiers complexes. D'autre part, on veille à ajuster les règles de la modulation de la fertilisation en fonction du degré de régulation de l'ombrage des arbres, dans deux modalités séparées sur le terrain. Ces modalités ont été prévues après des travaux de diagnostic dans la région (par exemple, Notaro, 2014). Sous l'initiative conjointe de la recherche et de l'équipe de direction de la coopérative, des producteurs intéressés par une collaboration avec les chercheurs ont été identifiés, contactés, leurs systèmes de production ont été caractérisés. Une réunion a été organisée, sur une journée complète, pour choisir des thèmes de recherche entre les différents acteurs. Les modalités des recherches ont été discutées et chaque producteur s'est inscrit (ou non) dans un des groupes. Les protocoles initiaux ont été préparés, puis affinés après la réunion. Des réunions périodiques de chaque groupe ont été organisées au fur et à mesure de l'avancement des recherches. L'expérience est encore en cours, dans le cadre du projet Stradiv (*System approach for the Transition to bio-diversified Agroecosystems*), cofinancé par Agropolis Fondation.

Des clusters d'innovation à l'initiative du secteur privé

Le secteur privé met en place des systèmes assez différents de promotion de l'innovation, souvent sous la forme de *clusters*, autrement dit des groupes d'agriculteurs sélectionnés selon des critères propres à l'entreprise, incluant le terroir et les pratiques agricoles. Ces agriculteurs reçoivent un encadrement particulier, souvent des crédits de campagne remboursables en café livré à la récolte. Ces initiatives sont évidemment très liées au marché, dans la mesure où elles visent à sécuriser, pour

l'acheteur, l'approvisionnement en café d'une qualité prévisible. C'est par exemple le cas de l'entreprise Nespresso. Les recommandations techniques incluent des éléments visant à garantir essentiellement la qualité organoleptique du café, mais aussi, de manière accessoire, le respect de l'environnement, se rapprochant ainsi de pratiques agro-écologiques. Proche de ce schéma, à l'initiative de la fondation Moringa (fonds d'investissement fondé par le groupe Edmond de Rothschild et ONF international) une ferme agroforestière du Nicaragua, la Cumplida, a été partiellement achetée et organise autour des terres de la ferme un espace agroforestier. Sous un contrat de location temporaire, des parcelles de caféiers sont entièrement renouvelées sur la base de variétés récentes (hybrides F_1 [Bertrand *et al.*, 2010] ou variétés de la famille des Catimor) et complantées d'espèces forestières à haute valeur ajoutée. Les investisseurs ont un réseau qui leur permet de garantir des marchés d'exportation avantageux et un suivi particulier est apporté par une filiale de Moringa, à laquelle est associée le Cirad au sein du projet Matrice (*Matagalpa Agroforest Resilient Landscape program*) afin de garantir la durabilité des pratiques agricoles. Dans une première phase, ce *cluster* ne rassemblait que de grandes et moyennes exploitations (entre 20 et 100 ha, pour une vingtaine de producteurs) : le contrat prévoyait que les bénéfices des cinq premières années seraient entièrement affectés au remboursement des investissements, les propriétaires devant donc disposer des moyens de subsistance complémentaires aux parcelles allouées à ce schéma de rénovation. Le projet a récemment inclus des petits producteurs (une cinquantaine), sous un contrat plus souple.

Les acteurs de la promotion de l'agro-écologie et de l'agriculture biologique

Institutions et politiques publiques

Comme dans beaucoup d'autres régions du monde, les trajectoires des politiques publiques agricoles et rurales et les acteurs ayant participé à ces processus sont propres à chaque contexte et fortement liés à l'histoire nationale. Toutefois, il est possible d'analyser un certain nombre de convergences dans les pays d'Amérique centrale.

D'abord, et comme dans d'autres pays du Sud, les pays d'Amérique

centrale ont été engagés dans des processus de libéralisation économique et de privatisation du secteur agricole en lien avec les politiques d'ajustements structurels des années 1990. Ces processus se sont traduits par l'affaiblissement plus ou moins marqué de l'État[26] et en particulier des structures publiques de recherche et de vulgarisation agricole[27]. En parallèle, des acteurs locaux, des mouvements sociaux et des acteurs de la coopération technique, par les projets de développement, ont favorisé l'émergence de modes de production alternatifs aux modèles issus de la révolution verte (Sabourin *et al.*, 2017). Dans certains pays, les crises économiques, politiques et environnementales ont facilité cette recherche de solutions dans un contexte de manque de devises, comme dans le cas du Nicaragua (Fréguin-Gresh, 2017). C'est dans ce contexte qu'ont émergé dans les années 1990 les concepts de l'agriculture biologique et de l'agro-écologie dans la région (cf. chap. 17).

Toutefois, même si dans certains cas, ces modes de production sont inscrits dans l'agenda politique national, ils restent relativement marginaux à l'heure actuelle dans la pratique. L'une des explications de cette limitation peut être la recherche de la maximisation de la productivité, dans un contexte où l'importation d'intrants agrochimiques est subventionnée et où l'encadrement de la caféiculture est en partie effectué par les vendeurs d'intrants, soit par le biais de techniciens itinérants, soit simplement comme service au moment de la vente d'intrants dans les officines. Cette situation n'est évidemment pas idéale pour la diffusion à grande échelle d'une agriculture moins dépendante des intrants. Une autre partie de l'encadrement est assurée par les coopératives et les usines de traitement du café, intéressées prioritairement à remplir leurs contrats d'exportation avec une vigilance accrue sur les quantités produites et fournies à leurs usines. Elles sont en principe moins intéressées directement à vendre des intrants, en particulier lorsqu'elles sont en charge des dossiers de certifications. Cependant, leur sensibilité aux volumes de café captés peut les inciter également à promouvoir cette consommation d'intrants, et en particulier les fertilisants.

Un succès

Toutefois, certains instruments de politiques ont permis des avancées considérables dans l'évolution des systèmes agroforestiers, avec parmi ceux-là les programmes de paiement des services environnementaux.

La première expérience nationale de paiements pour services environnementaux a été organisée en 1992 au Costa Rica pour protéger une forêt à des fins touristiques, mais c'est en 1997 qu'une forme plus aboutie a été conclue, avec la vente de précurseurs de crédits carbone à la Norvège. Cette même année, le programme national de paiements pour services environnementaux se met en place, sous l'impulsion des entreprises forestières et sous l'égide du Fonafifo (Fonds national de financement forestier). Il vise la fourniture de différents services écosystémiques (régulation climatique, qualité de l'eau, conservation de la biodiversité, beauté du paysage) et prend différentes formes (appui aux plantations, à la conservation, et, depuis le début, à la plantation d'arbres dans les plantations de caféiers et de cacaoyers). Les financements ont d'abord une origine internationale, mais ont été relayés dès la création de ce programme par une taxe sur les carburants, socialement bien acceptée au Costa Rica. Hormis la modalité relativement marginale d'encouragement de plantation d'arbres dans les parcelles agroforestières, ce paiement pour service environnemental est très orienté sur les activités forestières (reforestation, conservation). Cependant, une nouvelle modalité de caféier agroforestier, prévoyant un paiement à la surface de systèmes agroforestiers caféiers (et non pas juste à la plantation d'arbres dans des parcelles de systèmes agroforestiers) a été introduite en 2011 et fait désormais partie des modalités accessibles[28].

Ces expériences de paiements pour services environnementaux, particulièrement avancées au Costa Rica, ont été adoptées, sous des formes variées, dans presque tous les pays d'Amérique centrale (Guatemala, Salvador). Elles ont été généralement mises en place à l'initiative d'entrepreneurs forestiers, sauf au Nicaragua où les premières expériences ont été nettement orientées vers l'agro-écologie, à l'échelle municipale.

Les programmes de paiements pour services environnementaux, adossés à des normes nationales, représentent des outils utiles pour la promotion de l'agro-écologie. Une simulation participative (de type jeu de rôles, à l'initiative de la recherche) a été mise en œuvre afin d'explorer les effets potentiels d'un changement de l'environnement institutionnel des producteurs (plusieurs types d'instruments et de règles testés) sur l'adoption de pratiques, incluant la gestion de l'ombrage, la diminution des doses de fertilisants et la protection des cours d'eau (Bonifazi, 2015). Les simulations réalisées au cours de sessions réunissant une diversité de producteurs ont permis d'identifier cette influence potentielle pour des

pratiques de conduite des systèmes agroforestiers (fertilisation, gestion des adventices et de l'ombrage) et d'aménagement des parcelles ainsi que pour la provision de services (production de café, biodiversité) et de « dis-services » (érosion des sols, pollution azotée). Si un contrôle accru des zones de protection des rivières affecte positivement la biodiversité et réduit les problèmes d'érosion et de pollution azotée, il affecte négativement la production de café par simple effet de réduction de la surface plantée en café.

La mise en place d'incitations positives et ciblées (les « crédits verts » ou les paiements pour services environnementaux) semble cependant avoir des effets plus forts en termes d'amélioration des services écosystémiques que les mesures de contrôle normatives : elle réduit fortement les dis-services (érosion des sols et pollution azotée) en augmentant la provision de services de support (biodiversité) mais également d'approvisionnement (production de café). L'équilibre entre les différents services dépend toutefois du type d'incitations positives et du ciblage de ces incitations en termes de pratiques : les crédits verts (diminution des taux des emprunts qui remplissent des critères en relation avec l'environnement) entraînent un accroissement de production de café supérieur à ceux observés dans le cas du scénario des paiements pour services environnementaux, alors que les paiements pour services environnementaux se traduisent par un accroissement supérieur en termes de service de support (biodiversité) et de réduction de dis-services (érosion des sols et pollution azotée).

Initiatives de certifications et labels

Suite à la crise des prix du café qui a débuté à la fin des années 1990, des stratégies privées ont été mises en place pour promouvoir et valoriser la qualité environnementale et sociale de ce produit, en fixant des normes pour sa production et en créant des labels pour certifier le respect de ces normes (Soto et Le Coq, 2011).

La production de café « bio » s'est ainsi fortement accrue à partir des années 2000, en partie pour des raisons d'opportunités de prix, le surprix lié à la qualité bio compensant, en cas de prix bas, le manque à gagner du fait de productivités plus faibles (mais sans offrir une compensation suffisante en cas de prix élevés). Les systèmes de plantation en bio

utilisent un ombrage plus dense et plus divers, pour favoriser la régulation des bioagresseurs et le contrôle des mauvaises herbes. Un grand nombre d'autres pratiques sont également adoptées, comme des applications foliaires d'éliciteurs des défenses naturelles, cultures de micro-organismes récupérés en forêts, mais dont l'efficacité n'a pas été testée.

En outre, d'autres labels ont été créés sur la filière café, qui souvent rassemblent des normes environnementales et sociales : commerce équitable (*Max Havelaar* fondé en 1988 sur du café d'Oaxaca, au sud du Mexique), *Rainforest Alliance* (premières certifications agricoles en Amérique centrale, d'abord banane, puis café en 1995), *Smithsonian Bird Friendly coffee* en 1996 et finalement *Utz certified* (initialement *Utz Kapeh*, créé sur le café au Guatemala en 2002). Toutes ces normes imposent, à des degrés divers, des pratiques respectueuses de l'environnement du caféier au sein des filières de production. Les principales pratiques modifiées sont l'utilisation et la diversification de l'ombrage, mais aussi l'arrêt de certains pesticides ou le contrôle des chaînes de contamination liées à leur usage.

Une autre grande stratégie a reposé sur la promotion de la qualité du café et dans certains cas sur son amélioration. Elle est généralement plus liée à des entreprises de l'aval de la filière. Ainsi, Starbucks, une chaîne de magasins de vente de café à la tasse, basée essentiellement aux États-Unis mais qui a une stratégie d'implantation mondiale, a créé le manuel de pratiques *Starbucks Café Practices*. Seuls les producteurs qui adhèrent à ces pratiques peuvent prétendre vendre leur café à Starbucks. Dans le même type de stratégies, Nespresso a créé le programme AAA, plutôt promu dans le cadre de *clusters* de café, groupes de producteurs qui produisent déjà un café de qualité et qui reçoivent une assistance technique particulière liée à la commercialisation vers Nespresso.

Depuis une dizaine d'années, des appellations d'origine du café sont également apparues, basées sur une réputation de qualité et une histoire originale de la caféiculture des régions concernées. Ces appellations concernent principalement le territoire d'origine du caféier, mais tendent également à fixer certaines pratiques, en particulier des variétés.

Ces différentes stratégies, qui se réclament toutes comme promouvant la durabilité de la production de café, n'ont pas les mêmes effets sur l'adoption de pratiques agro-écologiques. Elles tentent de réduire (totalement dans le cas du bio) l'utilisation de produits issus de l'industrie

chimique, mais leurs relations à l'accroissement de la biodiversité est variable : contrainte dans le cas de certifications exigeantes comme *Bird Friendly*, plus négociée au cas par cas pour des certifications liées au marché, comme *Rainforest Alliance*, *Café Practices* de Starbucks, ou des stratégies de dénomination d'origine.

En revanche, depuis des décennies, le secteur coopératif a pris une plus grande importance. Au Nicaragua, après le relatif fiasco des coopératives agricoles sandinistes promues par l'État dans les années 1980, des ONG ont pris le relais pendant les années libérales (années 1990 et 2000) et ont encouragé l'émergence de coopératives d'appui à la production et d'exportation du café. Certaines ont prospéré, se sont largement professionnalisées, en particulier en ce qui concerne la promotion de la qualité du café et la négociation à l'exportation, et sont devenues des structures efficaces d'appui à la production. Au Costa Rica, les coopératives se sont largement développées, avec l'appui de l'État, et contrôlent une bonne partie de l'exportation du café. Une fédération de coopérative, CooCafé, a mis en place sa propre certification, *Café Forestal*, basée sur des critères agro-écologiques. Ces coopératives, quand elles existent, représentent des acteurs essentiels de l'accompagnement de l'innovation et de l'accès aux certifications (Faure *et al.*, 2012) et donc à la promotion de pratiques agro-écologiques.

Leçons apprises

Ce rapide inventaire des principes de l'association des espèces et des manières de la promouvoir nous fournit quelques éléments de conclusion.

Il y a un réservoir encore mal exploité dans les savoirs, mais aussi les pratiques des producteurs en agroforesterie. Les systèmes sont très divers, certains producteurs ont des pratiques en décalage par rapport à la norme. Toute pratique marginale n'est pas avantageuse, mais il faut se donner les moyens d'explorer et d'évaluer ces pratiques et ces savoirs.

La valorisation des produits additionnels liés à la pratique agroforestière est aléatoire. L'intégration verticale joue un rôle important : plus les acteurs arrivent à transformer les produits, plus ils arrivent à réduire ces aléas. C'est en particulier vrai pour le bois d'œuvre produit par les arbres d'ombrage.

La facilité de mise en œuvre de pratiques liées aux arbres d'ombrage est essentielle dans leur utilisation : reproduction, plantation, mais aussi et surtout facilité de gestion et plasticité des espèces, pour s'adapter à des contraintes qui varient dans le temps. Ainsi, les espèces qui peuvent supporter deux coupes presque totales par an ont été plébiscitées par les producteurs, comme l'érythrine et certaines espèces d'*Inga*.

La dimension pérenne des systèmes est fortement liée à la fourniture de nombreux services écosystémiques : protection contre l'érosion, protection de la biodiversité, recyclage des nutriments, etc. Il reste qu'un certain nombre d'éléments sont encore trop méconnus, liés aux effets différentiels de certaines espèces ou combinaisons d'espèces sur les bioagresseurs, sur la biologie du sol. Peu d'études sont centrées sur les traits fonctionnels des arbres d'ombrage qui permettraient d'augmenter la provision de ces services.

La complémentarité des espèces dépend de la complémentarité des niches explorées (Sanchez, 1995), mais il faut étendre cette notion, utilisée initialement en écologie. Elle peut certes concerner les niches explorées par les racines, par les éléments aériens pour l'interception du rayonnement lumineux, mais aussi des niches au sens économique : les revenus du bananier par exemple complètent harmonieusement ceux du caféier dans la distribution annuelle.

Le prix est certainement le principal élément à prendre en compte pour comprendre les évolutions de pratiques. On le voit sur le caféier en Amérique centrale comme sur d'autres productions dans d'autres régions du monde. Même si des marges de manœuvre existent encore, les systèmes agricoles ne peuvent évoluer profondément vers une meilleure prise en compte des objectifs environnementaux, dans le cadre actuel de la fixation et de l'évolution des prix. Dans ce contexte, nous avons besoin de concentrer plus d'efforts sur l'évaluation économique des options agro-écologiques de la gestion des plantations caféières, en particulier l'agroforesterie, pour mieux documenter ces débats et éclairer les nécessaires décisions publiques.

La communication sur les labels au sein des organisations qui les administrent — les coopératives en particulier — est essentielle. Une bonne part de leurs effets sur la modification des pratiques en dépend : les producteurs ont besoin de savoir quelles sont les exigences des certifications ; en outre, le fait d'être certifié donne une certaine fierté aux

producteurs, et cette fierté a des effets vertueux sur les pratiques. Enfin, les coopératives qui administrent l'application de ces labels peuvent prendre en charge une bonne partie de la formation, élément fondamental de la transition agro-écologique.

La recherche est encore en quête de principes d'action génériques pour l'agro-écologie, qui servent de cadre à la déclinaison de pratiques profitables pour les producteurs. Nous devons avoir à cœur de comprendre la complexité, pour l'optimiser.

La pression générale de la société concernant l'agro-écologie est un élément important de la transition, même si l'impact de cette pression sur les pratiques reste difficile à estimer. Elle facilite l'évolution des cadres normatifs, l'apparition de labels pour les marchés intérieurs, mais aussi la prise en compte des préoccupations et des pratiques de l'agro-écologie par les producteurs. C'est une évolution que nous avons observée au Costa Rica, et sans doute dans une moindre mesure dans d'autres pays d'Amérique centrale, où la caféiculture était moins intensive.

Conclusion

Les systèmes agroforestiers à base de caféiers représentent des options agro-écologiques très intéressantes, en combinant la production de café de qualité, mais aussi d'autres produits qui permettent de diversifier les sources de revenu, ainsi que les diètes alimentaires des familles de producteurs. Toutefois, ces systèmes sont complexes et bien des éléments de connaissances restent à acquérir sur leur fonctionnement et les conditions de leur amélioration.

La plateforme de partenariat (PCP AFS-CP), après une phase d'acquisition et de capitalisation de connaissances sur l'agro-écologie, passe à une autre étape de transition. Cette étape est la mise en œuvre d'options de modification des conditions de production, en relation plus étroite avec les pouvoirs publics, les opérateurs privés et les ONG, qui peuvent lui donner les moyens de ce changement d'échelle. Ce sont ces nouveaux défis que cette plateforme a décidé de relever pour sa seconde période, à partir de 2017.

On a montré au début de ce chapitre que les prix, leurs évolutions, mais

aussi les manières de les modifier, sont des éléments essentiels de la transition agro-écologique, dans ce secteur très lié aux marchés internationaux. D'autres déterminants (*drivers*) sont en train d'apparaître, qu'il faut intégrer dans nos travaux.

Ainsi, l'arrivée de la rouille orangée du caféier en Amérique centrale en 1976 au Nicaragua a favorisé la création d'un réseau régional des instituts de recherche sur le café visant à promouvoir le développement d'innovations et la modernisation de la caféiculture : le Promecafé (*Programa Cooperativo Regional para el Desarrollo Tecnológico y la Modernización de la Caficultura de Centroamérica, República Dominicana y Jamaica*). Si cette maladie est restée relativement discrète en Amérique centrale pendant des décennies (Avelino *et al.*, 1999), en 2012-2013, elle a causé des pertes très importantes, devenant un déterminant de l'évolution des systèmes de culture des plantations caféières de la région. Une des raisons de ce changement d'ordre de grandeur des dommages peut venir du changement climatique, le caféier, mais aussi l'agent de la rouille orangée, *Hemileae vastatrix*, étant très sensibles à la température (Avelino *et al.*, 2015). L'évolution du parc génétique du caféier est une des conséquences immédiates de la crise, avec le remplacement rapide des variétés traditionnelles sensibles par des variétés résistantes. Cependant, des contournements de résistance ont déjà eu lieu (Gómez, 2017), indiquant qu'une gestion intégrée de la rouille orangée, basée sur l'ombrage et la nutrition, en particulier la conservation des sols, est nécessaire (Avelino *et al.*, 2006 ; Toniutti *et al.*, 2017). Une approche systémique de la lutte contre cette maladie doit être envisagée (Lewis *et al.*, 1997). La transformation du système de production dans sa globalité y est considérée pour maximiser les forces préventives de contrôle des maladies et ravageurs, en mobilisant plusieurs mécanismes de contrôle/régulation écologique (Avelino *et al.*, 2011), à la base de l'agro-écologie, et en employant des tactiques classiques de contrôle (chimie, génétique) uniquement en appoint. Leur efficacité pourrait alors s'en trouver augmentée du fait de la pression réduite des bioagresseurs dans ces nouveaux systèmes. Cette stratégie semble la seule possible pour les bioagresseurs pour lesquels aucune lutte génétique n'est possible (cas des pathogènes peu spécifiques comme *Mycena citricolor*) ou parce qu'elle a montré ses limites (cas de la rouille orangée). L'ombrage est central dans cette approche, mais de nombreuses études restent à mener pour identifier des idéotypes d'ombrage qui permettent d'atteindre cet objectif de régulation efficace du complexe des bioagresseurs.

Références

Allinne C., Savary S., Avelino J., 2016. Delicate balance between pest and disease injuries, yield performance, and other ecosystem services in the complex coffee-based systems of Costa Rica. *Agr Ecosyst Environ*, 222, 1-12.

Avelino J., Cristancho M., Georgiou S., Imbach P., Aguilar L., Bornemann G., Läderach P., Anzueto F., Hruska A.J., Morales C., 2015. The coffee rust crises in Colombia and Central America (2008-2013): Impacts, plausible causes and proposed solutions. *Food Secur*, 7 (2), 303-321.

Avelino J., Muller R.A., Eskes A., Santacreo R., Holguin F., 1999. La Roya Anaranjada del café: Mito y realidad. In : *Desafíos de la Caficultura Centroamericana* (B. Bertrand, B. Rapidel, eds), IICA-Cirad-IRD-CCCAC, San José, Costa Rica, 93-241.

Avelino J., ten Hoopen M., DeClerck F., 2011. Ecological mechanisms for pest and disease control in coffee and cacao agroecosystems of the Neotropics. In : *Ecosystem Services from Agriculture and Agroforestry: Measurement and Payment* (B. Rapidel, F. DeClerck, J.F. Le Coq, J. Beer, eds), Earthscan, Londres, Royaume-Uni, 91-117.

Avelino J., Zelaya H., Merlo A., Pineda A., Ordoñez M., Savary S., 2006. The intensity of a coffee rust epidemic is dependent on production situations. *Ecol Model*, 197, 431-447.

Baumeister E., Fernández E., Acuña G., 2008. *Estudio sobre las migraciones regionales de los nicaragüenses*, INCEDES, FLACSO Editorial de Ciencias Sociales, Managua, Nicaragua, 103 p.

Beer J., Muschler R., Kass D., Somarriba E., 1998. Shade management in coffee and cacao plantations. *Agrofor Syst*, 38, 139-164.

Bertrand B., Alpizar E., Lara L., SantaCreo R., Hidalgo M., Quijano J.M., Charmetant P., Montagnon C., Georget F., Etienne H., 2010. Performance of *Coffea arabica* F₁ hybrids in agroforestry and full-sun cropping systems in comparison with American pure line varieties. *Euphytica*, 181 (2), 147-158.

Bhattarai S., Alvarez S., Gary C., Rossing W., Tiftonell P., Rapidel B.,

2017. Combining farm typology and yield gap analysis to unravel important variables limiting yields in highland coffee systems of Llano Bonito, Costa Rica. *Agr Ecosyst Environ*, 243, 132-142.

Bonifazi M., 2015. Services écosystémiques et production agroforestière : Instruments d'incitation pour le bassin de Llano Bonito, Costa Rica, mémoire M2, Systèmes agricoles et agroalimentaires durables au Sud (SAADS), Montpellier SupAgro, Montpellier.

Boudrot A., Pico J., Merle I., Granados E., Vilchez S., Tixier P., Virginio Filho E.D.M., Casanoves F., Tapia A., Allinne C., Rice R.A., Avelino J., 2016. Shade effects on the dispersal of airborne *Hemileia vastatrix* uredospores. *Phytopathology*, 106, 572-580.

Cerda R., Allinne C., Gary C., Tixier P., Harvey C.A., Krolczyk L., Mathiot C., Clément E., Aubertot J.-N., Avelino J., 2017. Effects of shade, altitude and management on multiple ecosystem services in coffee agroecosystems. *Eur J Agron*, 82, 308-319.

Cerda R., Deheuvels O., Calvache D., Niehaus L., Saenz Y., Kent J., Vilchez S., Villota A., Martinez C., Somarriba E., 2014. Contribution of cocoa agroforestry systems to family income and domestic consumption: Looking toward intensification. *Agrofor Syst*, 88, 957-981.

Defrenet E., Roupsard O., Van den Meersche K., Charbonnier F., Pérez-Molina J.P., Khac E., Prieto I., Stokes A., Roumet C., Rapidel B., Virginio Filho E.D.M., Vargas V.J., Robelo D., Barquero A., Jourdan C., 2016. Root biomass, turnover and net primary productivity of a coffee agroforestry system in Costa Rica: Effects of soil depth, shade trees, distance to row and coffee age. *Ann Bot-London*, 118, 833-851.

Demyk N., 2007. Café et pouvoir en Amérique Centrale. *Études rurales*, 180, 137-154.

Faure G., Le Coq J., Vagneron I., Hocdé H., Soto Muñoz G., Kessari M., 2012. Stratégies des organisations de producteurs de café au Costa Rica vis-à-vis des certifications environnementales et sociales. *Cah Agr*, 21, 162-168.

Fréguin-Gresh S., 2017. Agroecología y agricultura orgánica en Nicaragua. Génesis, institucionalización y desafíos. In : *Políticas Públicas*

en favor de la agroecología en América Latina y el Caribe (E. Sabourin, M.M. Patrouilleau, J.F. Le Coq, L. Vásquez, P. Niederle, eds), Red PP-AL, FAO, Porto Alegre, Brésil, 311-350.


Griffon M., 2013. *Qu'est-ce que l'agriculture écologiquement intensive ?* Éditions Quæ, Versailles, 224 p.

Haggar J., Barrios M., Bolaños M., Merlo M., Moraga P., Munguia M., Ponce A., Romero S., Soto G., Staver C., Virginio E., 2011. Coffee agroecosystem performance under full sun, shade, conventional and organic management regimes in Central America. *Agrofor Syst*, 82, 285-301.

Hergoualc'h K., Blanchard E., Skiba U., Henault C., Harmand J.M., 2012. Changes in carbon stock and greenhouse gas balance in a coffee (*Coffea arabica*) monoculture versus an agroforestry system with *Inga densiflora*, in Costa Rica. *Agr Ecosyst Environ*, 148, 102-110.

Jha S., Bacon C.M., Philpott S.M., Mendez V.E., Laderach P., Rice R.A., 2014. Shade coffee: Update on a disappearing refuge for biodiversity. *BioScience*, 64, 416-428.

Jiménez G., Siles P., Bustamante O., Rapidel B., Staver C., 2012. Optimizing timber production and carbon storage of *Cedrela odorata* and *Swietenia macrophylla* in coffee agroforestry systems in Honduras. In : *ASIC 2012, the 24th international conference on coffee science*, ASIC, San José, Costa Rica, 1071-1074.

León-Gómez R., 2017. Informe de gira técnica para evaluar problemática de presencia de roya (*Hemileia vastatrix*) en variedades "resistentes" de café en Honduras. Promecafe, 36 p., <http://promecafe.net/20182/wp-content/uploads/2018/04/Informe-GiraTécnica-de-Energencia-Roya-Honduras.pdf> .

Lewis W.J., van Lenteren J.C., Phatak S.C., Tumlinson III J.H., 1997. A total system approach to sustainable pest management. *P Natl Acad Sci USA*, 94, 12243-12248.

Lopez D., Virginio Filho E.D.M., Avelino J., 2013. Shade is conducive to coffee rust as compared to full sun exposure under standardized fruit load conditions in a sub-optimal zone for coffee in Costa Rica. *Crop Prot*, 38,

21-29.

Meylan L., 2012. *Design of cropping systems combining production and ecosystem services: Developing a methodology combining numerical modeling and participation of farmers*, thèse E.D. Fonctionnement des écosystèmes naturels et cultivés, Montpellier SupAgro, Montpellier, 145 p.

Meylan L., Merot A., Gary C., Rapidel B., 2013. Combining a typology and a conceptual model of cropping system to explore the diversity of relationships between ecosystem services: The case of erosion control in coffee-based agroforestry systems in Costa Rica. *Agr Syst*, 118, 52-64.

Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*, Island Press, Washington DC, États-Unis, 160 p.

Notaro M., 2014. *Diseño de sistemas agroforestales con base en los compromisos entre servicios ecosistémicos. Estudio de caso en sistemas agroforestales con café en el norte de Nicaragua*, rapport de M2 Production végétale durable, Montpellier SupAgro, Montpellier, France, 67 p.

Padovan M.P., Brook R.M., Barrios M., Cruz-Castillo J.B., Vilchez-Mendoza S.J., Costa A.N., Rapidel B., 2018. Water loss by transpiration and soil evaporation in coffee shaded by *Tabebuia rosea* Bertol. and *Simarouba glauca* D.C. compared to unshaded coffee in sub-optimal environmental conditions. *Agric For Meteorol*, 248, 1-14.

Padovan M.P., Cortez V.J., Navarrete L.F., Navarrete E.D., Barrios M., Munguía R., Centeno L.G., Deffner A.C., Vilchez J.S., Vega C., Costa A.N., Brook R.M., Rapidel B., 2015. Root distribution and water use in a coffee shaded with *Tabebuia rosea* Bertol. and *Simarouba glauca* DC. compared to full sun coffee in sub-optimal environmental conditions. *Agrofor Syst*, 89, 857-868.

Quispe G.J.L., 2007. Caracterización del impacto ambiental y productivo de las diferentes normas de certificación de café en Costa Rica, M.Sc. thesis, Agricultura ecológica, CATIE, Turrialba, 137 p.

Sabourin E., Patrouilleau M.M., Le Coq J.F., Vásquez L., Niederle P., eds, 2017. *Políticas Públicas en favor de la agroecología en América Latina y el Caribe*, Red PP-AL, FAO, Porto Alegre, Brésil, 412 p.

Samper M., 1999. Trayectoria y viabilidad de las caficulturas centroamericanas. In : *Desafíos de la Caficultura en Centroamérica* (B. Bertrand, B. Rapidel, eds), Cirad-IICA, San José, Costa Rica, 1-68.

Sanchez P., 1995. Science in agroforestry. *Agrofor Syst*, 30, 5-55.

Soto G., Le Coq J.-F., 2011. Certification process in the coffee value chain: Achievements and limits to foster provision of environmental services. In : *Ecosystem Services from Agriculture and Agroforestry: Measurement and Payment* (B. Rapidel, F. DeClerck, J.F. Le Coq, J. Beer, eds), Earthscan, Londres, Royaume-Uni, 319-346.

Toniutti L., Breitler J.-C., Etienne H., Campa C., Doulebeau S., Urban L., Lambot C., Pinilla J.-C.H., Bertrand B., 2017. Influence of environmental conditions and genetic background of Arabica coffee (*C. arabica* L.) on leaf rust (*Hemileia vastatrix*) pathogenesis. *Frontiers in Plant Science*, 8, 2025.

Tulet J.-C., 2008. Le café, un marqueur identitaire en Amérique latine tropicale. *Café d'Outre-Mer*, 243, 243-262.

CHAPITRE 9

De nouvelles variétés pour des systèmes caféiers agroforestiers innovants

Benoit Bertrand, Jean-Christophe Breitler, Frédéric Georget, Éric Penot, Mélanie Bordeaux, Pierre Marraccini, Sophie Lérant, Claudine Campa, Olivier Bonato, Luc Villain, Hervé Étienne

Dans l'industrie de l'amélioration des plantes (ce qu'on appelle aussi l'industrie semencière), le sélectionneur applique un cahier des charges issu d'une logique productiviste qui considère l'environnement comme un support de production et se préoccupe peu de la quantité d'intrants à apporter. Par ailleurs, cette industrie est absente des filières des plantes